

Großsignalfeste ZF-Verstärkerstufe

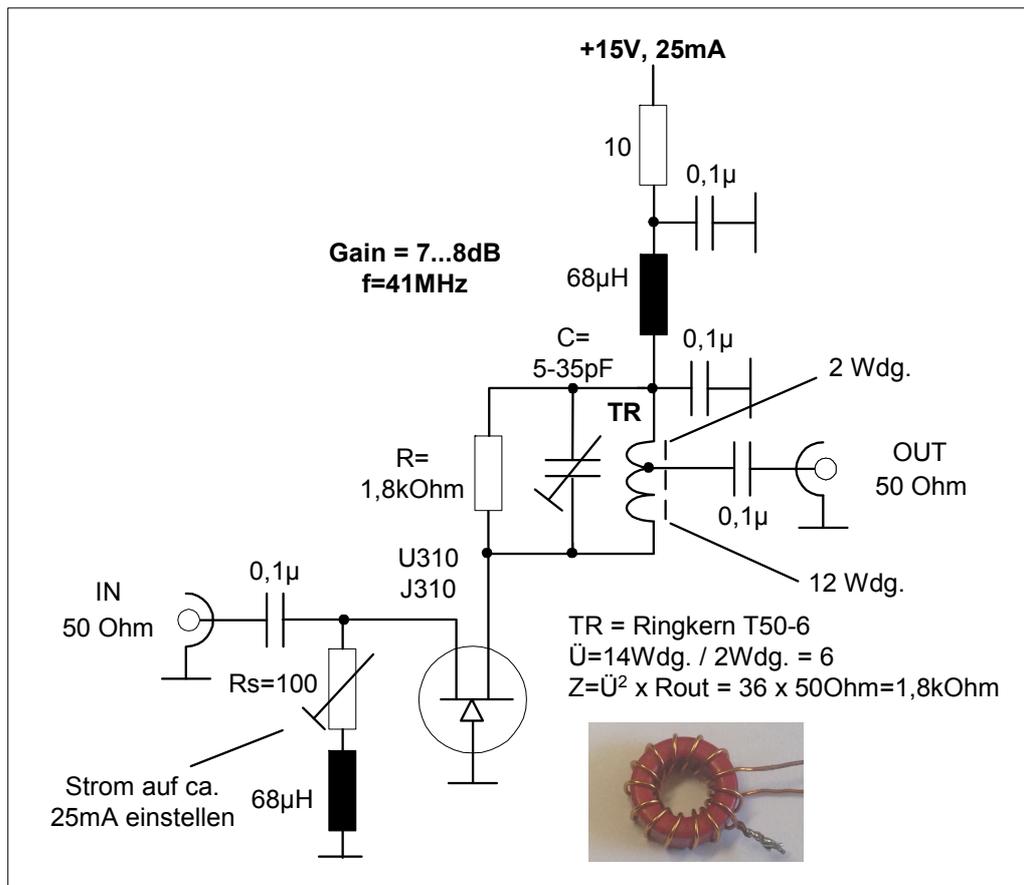


Bild 1: Großsignalfester HF-Verstärker, im Beispiel für ZF=40,525MHz

Daten

- Frequenz: 40,525MHz (1. ZF von KW-Receiver)
- nutzbarer Frequenzbereich: 9-70MHz, abhängig von C
- 3dB-Bandbreite: +/-7,5MHz (gewählte Resonanz bei 41 MHz)
- Verstärkung: 7...8dB
- Rauschen: 1,5dB
- IP3=27,5dBm
- Wickeldaten: insgesamt 14 Windungen, L=96µF, C=15..22pF, Anzapfung nach 2 Windungen
- Eingangsimpedanz: Z=50 Ohm
- Ausgangsimpedanz: Z=50 Ohm
- Eingangs-Reflexionsfaktor: 25dB
- Ausgangs-Reflexionsfaktor: >30dB
- Ringkern (TR): T50-2 (rot), Eisenpulverkern
- Ra= 1800 Ohm
- $\dot{U}=14/2=6$; $R=\dot{U}^2 \times Z_{out} = 6^2 \times 50 \text{ Ohm} = 1,8 \text{ kOhm}$
- Rückwärtsentkopplung: <40dB

Hinweis: Eine halbe Windung CuL mehr oder weniger hat schon einen Einfluss auf die Impedanz-Transformation des Ringkerns. Für eine gute Ausgangsanpassung muß "R" in den meisten Fällen angepasst, zwischen 1,8...2,2kOhm. Das muß getestet werden, am besten mit einem Trimpoti.

1) Messung von Bandbreite und Verstärkung

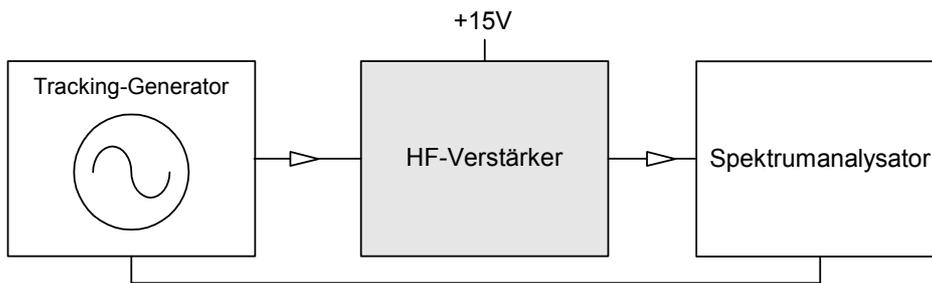


Bild2: Messaufbau für Verstärkung und Bandbreite

Der HF-Verstärker wird zwischen Tracking-Generator (Mitlaufgenerator) und Spektrumanalysator geschaltet und der TR auf z.B. -20dBm eingestellt. Den abgebildeten Frequenzbereich so wählen, dass die 3dB-Bandbreite noch ablesbar ist. Im Beispiel werden 42MHz Mittenfrequenz \pm 25MHz abgebildet. Die gleiche Messung kann man auch schrittweise mit einem HF-Signalgenerator anstelle des Tracking-Generators durchführen.

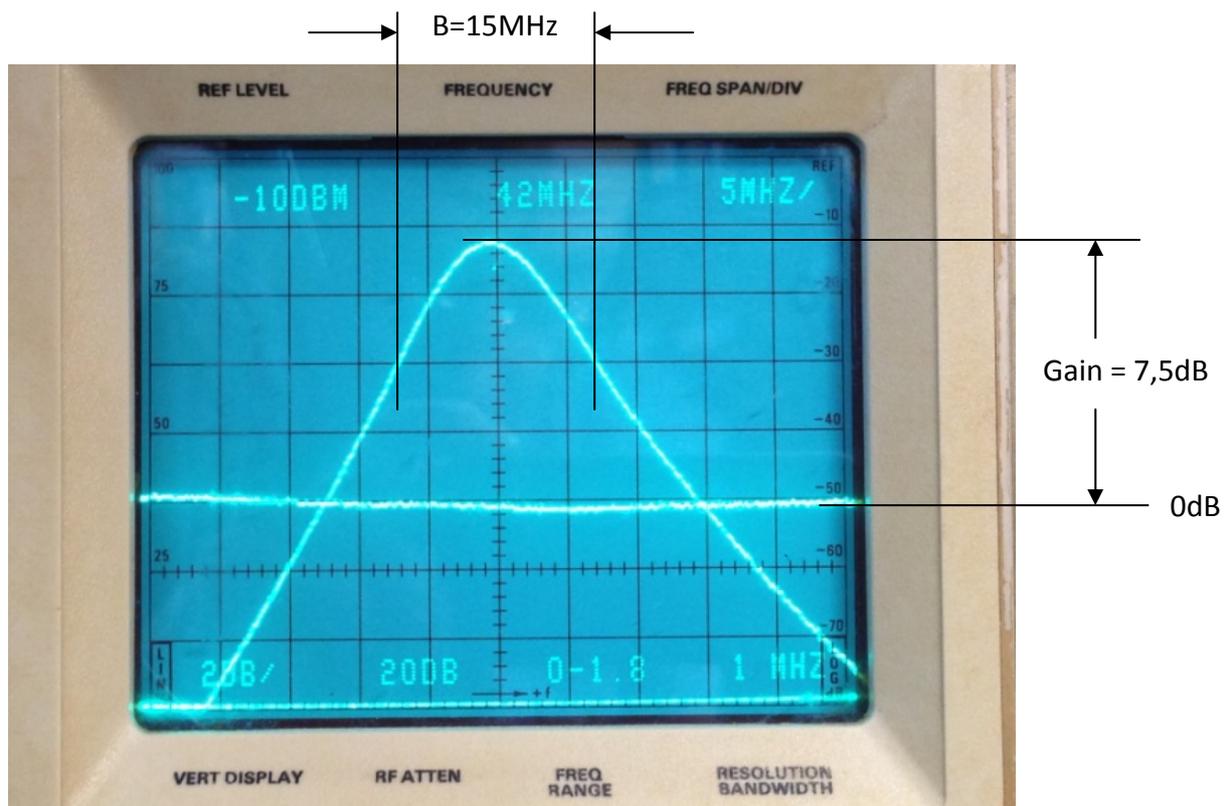


Bild 3: Messkurve der Verstärkung und Bandbreite (-3dB), vertikal 2dB/Div

Die gewobbelte Kurve zeigt bei Resonanz eine max. Verstärkung von 7,5dB und eine 3dB-Bandbreite von \pm 15MHz. Wird der HF-Verstärker innerhalb einer ZF-Stufe eines Empfängers eingesetzt, ist die Bandbreite unwesentlich.

Durch Änderung (Vergrößerung) von C lässt sich bei Bedarf die Resonanzfrequenz des Verstärkers bis auf 9MHz herunter bringen. Die Wicklungen des Ringkerns müssen dabei nicht geändert werden.

2) Messung des IP_3

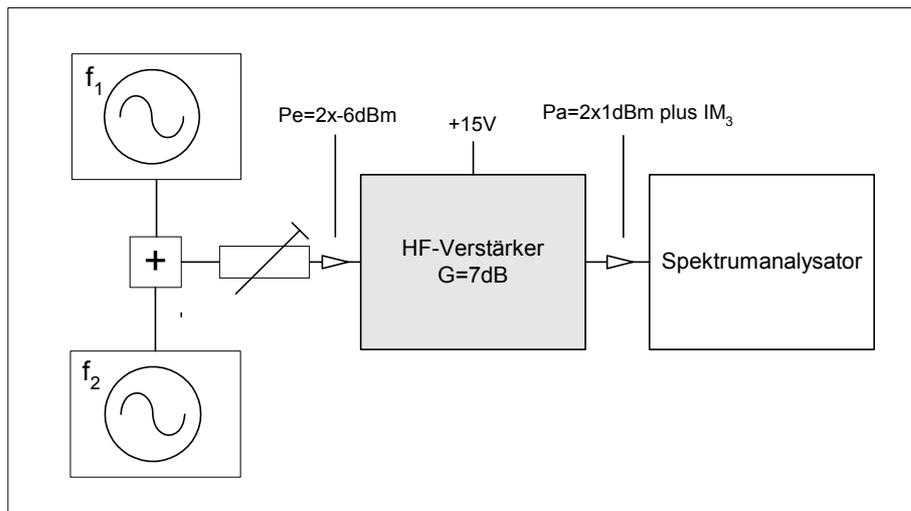


Bild 4: Messaufbau IM_3 - und IP_3 -Messung

Zur IP_3 -Messung verwendete ich einen 2-Ton HF-Generator mit den Frequenzen 14,255 und 14,275 MHz, $\Delta f = 20\text{kHz}$. Die Messung bei 14,2 MHz stellt kein Problem dar, durch Vergrößerung von C (zusätzlich ca. 100pF) verschiebt sich die Resonanzfrequenz auf 14,2 MHz und der Verstärker arbeitet bei dieser Frequenz genauso, wie bei 41 MHz.

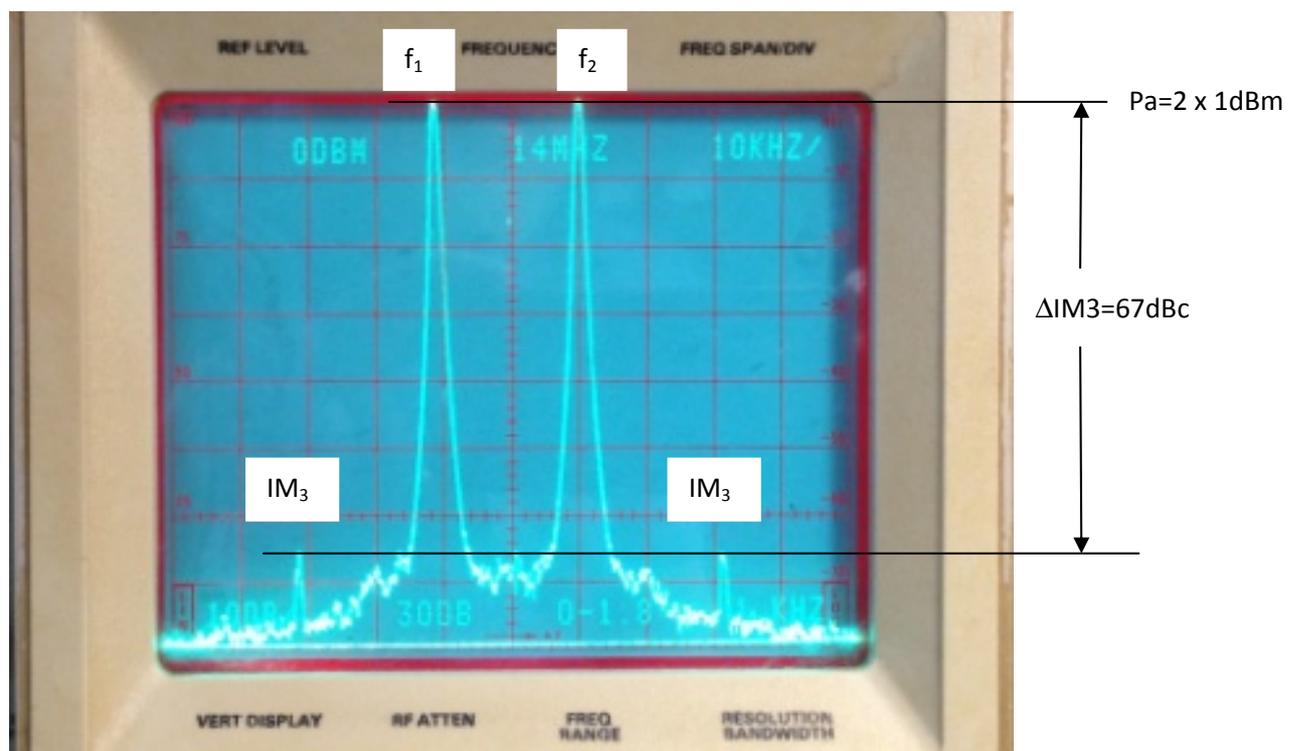


Bild 5. Messergebnis: $\Delta IM_3 = 67\text{dBc}$, bei $\Delta f = 20\text{kHz}$

Zwei Eingangssignale (f_1, f_2) mit jeweils $P_e = -6\text{dBm}$ Leistung, erzeugen IM_3 -Produkte mit einem Pegelabstand von 67dBc (Bild 5). Daraus ergibt sich ein IP_3 von

$$IP_3 = \Delta IM_3 / 2 + P_e = 67\text{dB} / 2 - 6\text{dBm} = +27,5\text{dBm}$$

3) Messung der Eingangs-Anpassung des Verstärkers an 50 Ohm (Rückflußdämpfung)

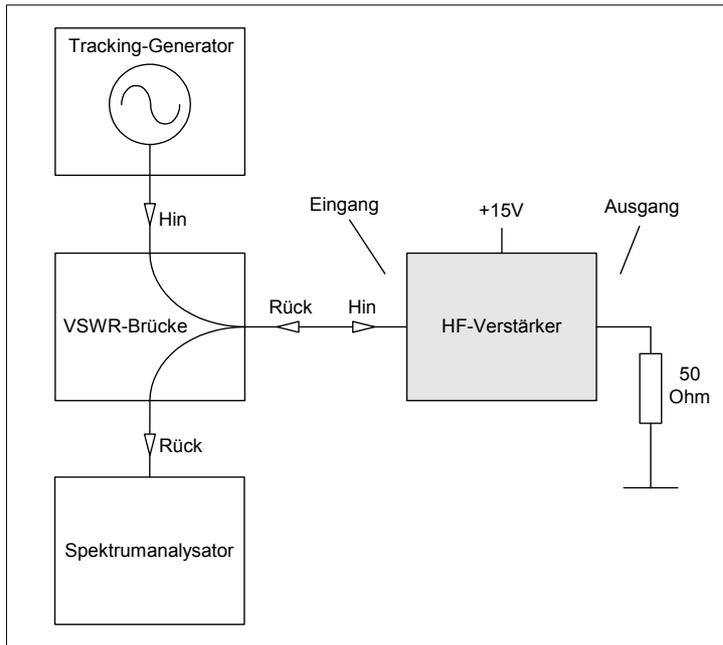


Bild 6: Messaufbau für Eingangs-Rückflußdämpfung mit VSWR-Brücke

Die Messung des Eingangswiderstands des HF-Verstärkers erfolgt mit Hilfe einer VSWR-Brücke. Zur Festlegung der Maxima wird die Brücke einmal mit 50 Ohm abgeschlossen und einmal im Leerlauf bzw. Kurzschluss betrieben (100% Reflexion). Bild 7 zeigt die gewobbelte Kurve der Eingangs-Rückflußdämpfung von 36...46MHz.

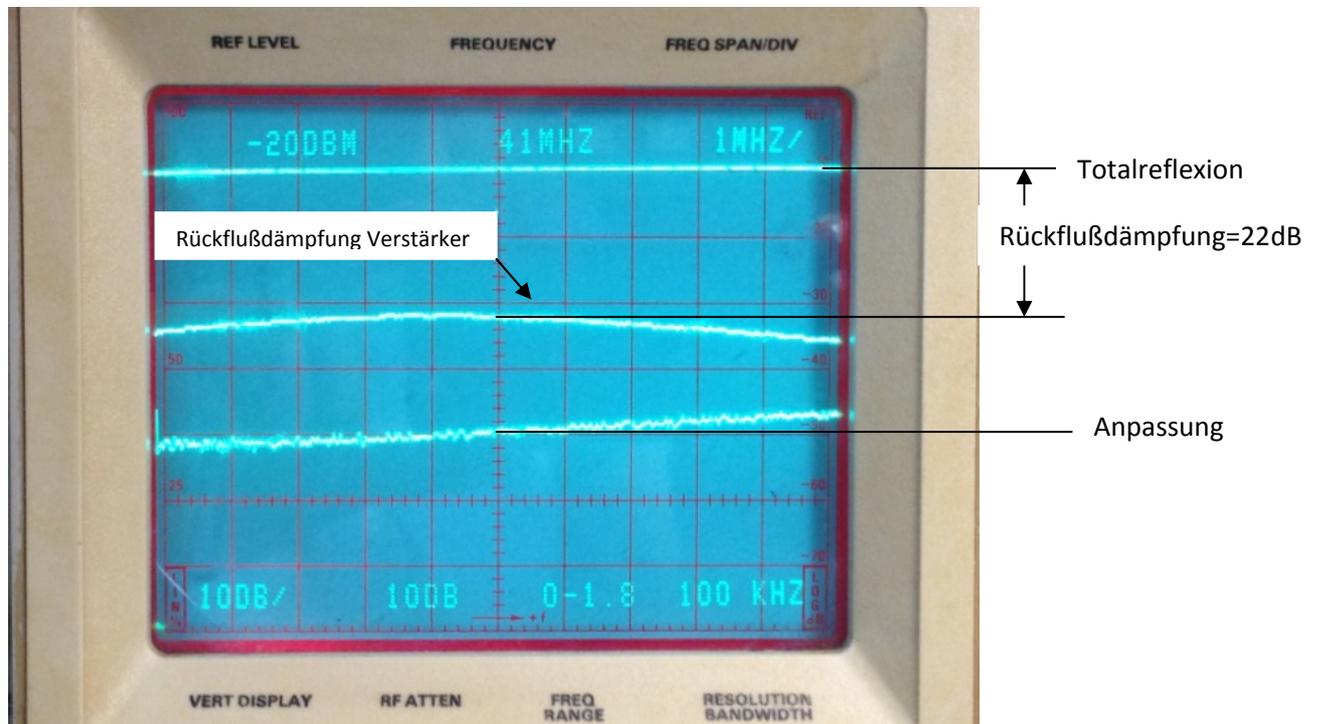


Bild 7: Messergebnis: Eingangs-Rückflußdämpfung bei Resonanz = 22dB

Die Rückflußdämpfung bei Resonanz beträgt 22dB; daraus folgt: Stehwellenverhältnis (VSWR) = 1,17; Reflexionsfaktor = 0,08

4) Messung der Ausgangs-Anpassung des Verstärkers an 50Ohm (Rückflußdämpfung)

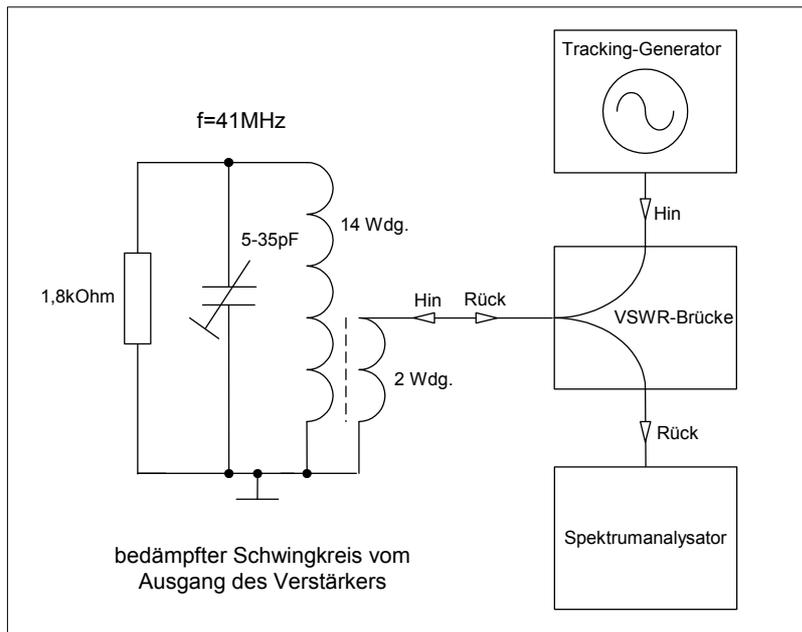


Bild 8: Messaufbau für Ausgangs-Rückflußdämpfung mit VSWR-Brücke

Zur Messung der Ausgangs-Rückflußdämpfung müssen wir den Ringkern ausbauen und die Transformation von der Auskoppelspule zum bedämpften Schwingkreis (R) messen (Bild 8). Das Übertragungsverhältnis ist $\dot{U}=2:14=1:6$. Daraus folgt $Z=R=\dot{U}^2 \times 50 \text{ Ohm} = 36 \times 50 \text{ Ohm} = 1,8 \text{ kOhm}$. Ein Drainwiderstand von 1,8kOhm sollte sich demnach verlustarm auf 50 Ohm transformieren lassen. Als Ergebnis zeigt Bild 9 zeigt die gewobbelte Kurve der Eingangs-Rückflußdämpfung von 36...46MHz.

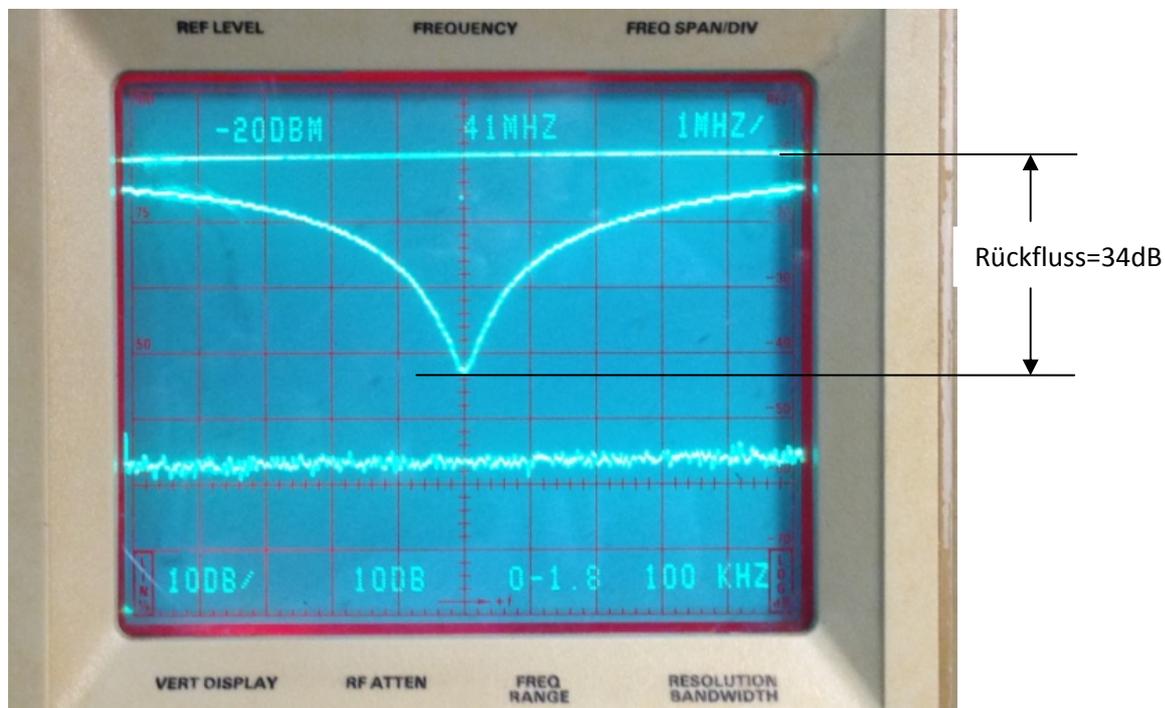


Bild 9: Messergebnis: Ausgangs-Rückflußdämpfung = 34dBm bei 41 MHz

Die Rückflußdämpfung bei Resonanz beträgt 34dB; daraus folgt: Stehwellenverhältnis (VSWR) = 1,04; Reflexionsfaktor = 0,02. Die Anpassung im Ausgang ist sehr gut.

5) Anpassung messen, ohne Spektrumanalysator und ohne VSWR-Brücke!

Sehr viel einfacher lässt sich die Eingangs- und Ausgangsanpassung eines HF-Verstärkers über die Signalspannungen kontrollieren. Schließt man den Eingang und den Ausgang mit 50 Ohm ab, dann verkleinert sich die Signalspannung an diesen Stellen um genau 50%, wenn die Eingangs- und Ausgangsimpedanz des Verstärkers ebenfalls 50 Ohm beträgt.

5.1) Messung der Eingangsimpedanz (Ra) eines HF-Verstärkers

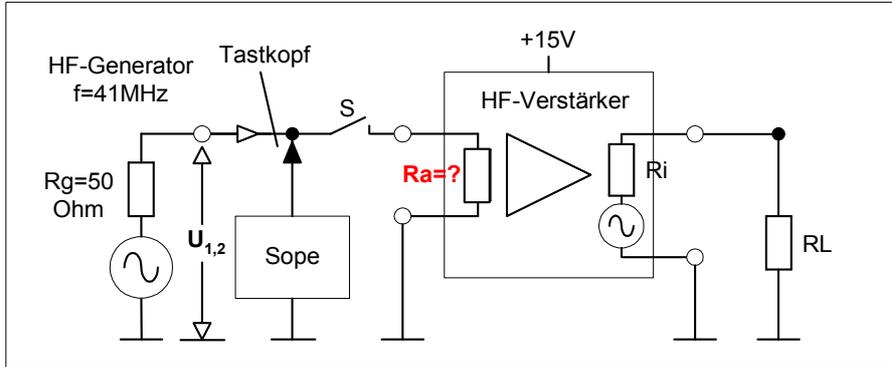


Bild 10: Messung der Eingangsimpedanz, Anpassung an 50 Ohm

$$Ra = Rg * \left(\frac{U_2}{U_1 - U_2} \right)$$

mit:

U₁ = Leerlaufspannung des HF-Generators (Schalter S offen)

R_g = Innenwiderstand des HF-Generators, 50 Ohm

U₂ = Spannung des Generators mit Eingangswiderstand R_a (Schalter S geschlossen)

R_a = Eingangswiderstand des Verstärkers (die Eingangsimpedanz)

Wenn die Spannung U₂ der halbe Wert von U₁ ist, dann ist der Widerstand Ra gleich dem Innenwiderstand des Generators Rg

Beispiel: Messwert U₁=100mVss, Messwert U₂=55mVss, Rg=50Ohm, Ra=?

$$Ra = Rg * \left(\frac{U_2}{U_1 - U_2} \right) = 50 \text{ Ohm} * \left(\frac{54\%}{100\% - 54\%} \right) = 50 \text{ Ohm} * 1,173 = 58,7 \text{ Ohm}$$

Daraus folgt: $VSWR = \frac{Ra}{Rg} = \frac{58,7 \text{ Ohm}}{50 \text{ Ohm}} = 1,174$ entsprechend einer Rückflußdämpfung von 22dB

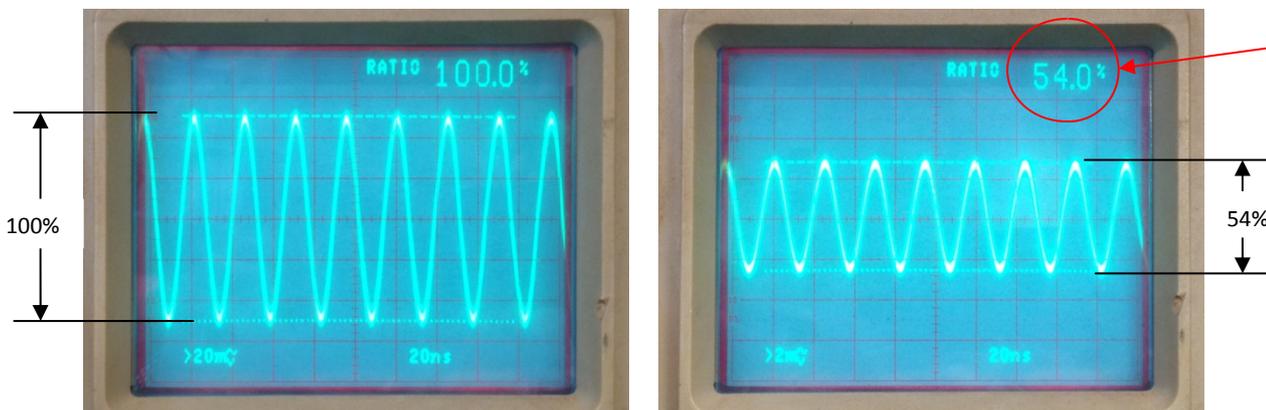


Bild 11: Generator offen (links) und mit dem Eingang des Verstärkers abgeschlossen (rechts), die Spannung reduziert sich dabei auf 54%, leichte Fehlanpassung mit 58,7Ohm. Gleiches Ergebnis wie unter 3) gemessen.

5.2) Messung der Ausgangsimpedanz (R_i) eines HF-Verstärkers

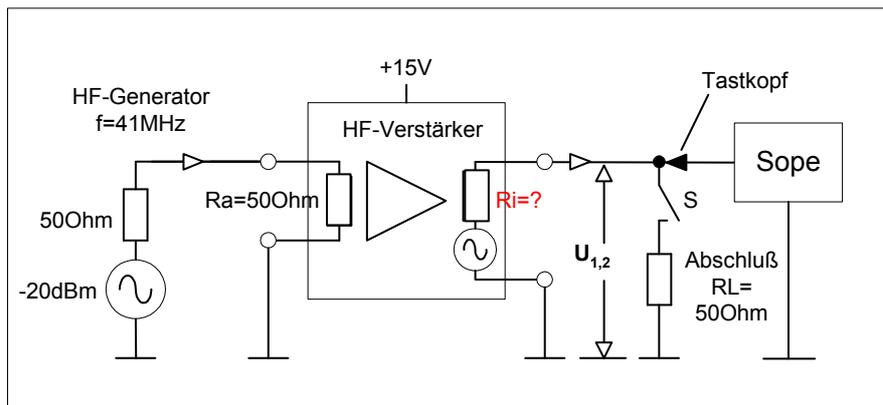


Bild 12: Messung der Ausgangsimpedanz, Anpassung an 50 Ohm

$$R_i = R_L * \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

mit:

U_1 = Leerlaufspannung (bei $R_L = \infty \Omega$, also ohne R_L , wenn Schalter S offen)

R_L = Lastwiderstand (Anpassung, 50 Ohm)

U_2 = Spannung mit Lastwiderstand R_L

R_i = Ausgangswiderstand des Verstärkers (die Ausgangsimpedanz)

Wenn die Spannung U_2 der halbe Wert von U_1 ist, dann ist der Ausgangswiderstand R_i gleich dem Widerstand R_L

Beispiel:

Messwert $U_1=100\text{mVss}$, Messwert $U_2=50\text{mVss}$, $R_L=50\text{Ohm}$, $R_i=?$

$$R_i = R_L * \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) = 50 \text{ Ohm} * \left(\frac{100\%}{50\%} - 1 \right) = 50 \text{ Ohm}$$

Der Ausgangswiderstand (R_i) des HF-Verstärkers beträgt 50 Ohm, Rückflußdämpfung >30dB

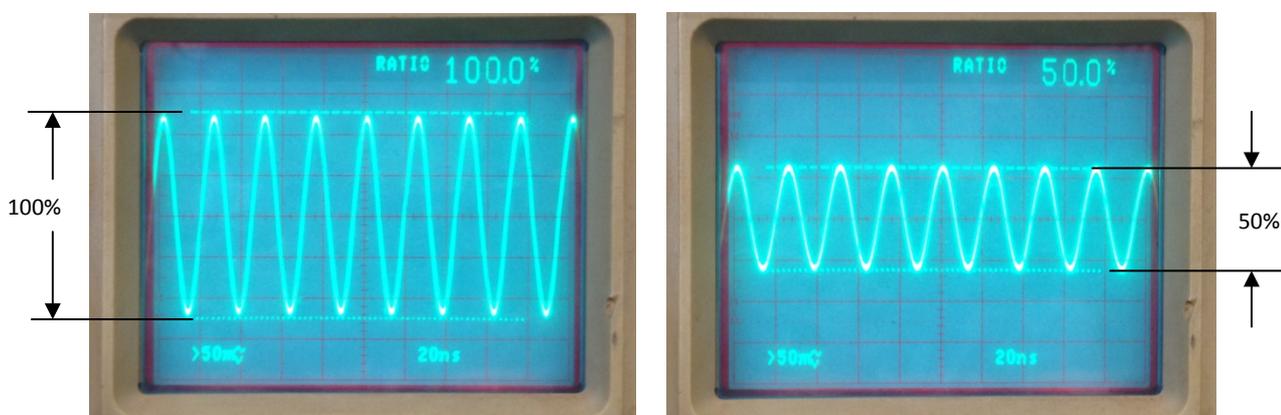


Bild 13: Ausgang offen (links) und mit 50 Ohm abgeschlossen (rechts), Spannung reduziert sich auf 50%

Hinweis: Bei den Anpassungsmessungen darauf achten, dass die Spannungen nicht zu groß werden und der Verstärker dadurch in Begrenzung kommt! ($224\text{mVeff} = 0\text{dBm}$!)

6) Einsatz des linearen HF-Verstärkers

Der HF-Verstärker wurde von mir in einem KW-Empfänger zwischen dem Ausgang des breitbandigen 1. ZF-Filters bei 40,525MHz (B=12kHz) und dem Eingang des 2. Mixers eingesetzt, er kann zu- und abgeschaltet werden und dient lediglich zur Verbesserung der Rauschzahl in den höheren Bändern. Der HF-Verstärker muß an dieser Stelle großsignalfest sein, damit die In-Band-Intermodulation innerhalb der 1. ZF-Bandbreite von 12 kHz nicht verschlechtert wird.

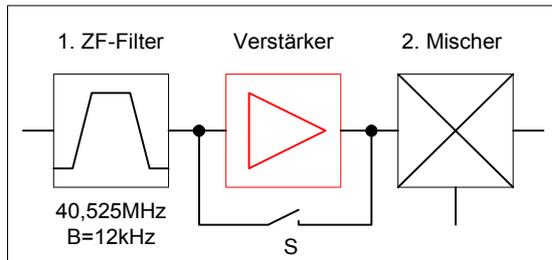


Bild 14: Einsatz des großsignalfesten ZF-Verstärkers in einem KW-Receiver

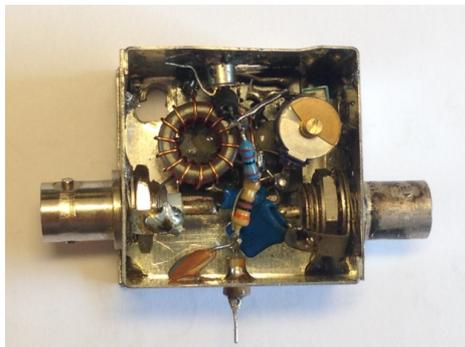


Bild 15: Verstärker im Blechgehäuse inklusive zwei Relais, viel Platz bleibt da nicht mehr

Vorteile eines FET-Verstärkers in Gate-Schaltung:

- großsignalfest
- empfindlich
- breitbandig (ohne Schwingkreis im Ausgang)
- hohe Entkopplung zwischen Ausgang und Eingang (rückwirkungsfrei)
- sehr stabil, frei von parasitären Schwingungen
- 50 Ohm Eingang einfach zu realisieren
- einfacher und unkritischer Aufbau, wenig Bauteile

Nachteile:

- relativ geringe Verstärkung (6...10dB)

Literatur:

(1) Ringkerne

<http://toroids.info/T50-2.php>

(2) Roofing Filters, Transmitted BW & Receiver Performance,

Rob Sherwood, 2008 Dayton Contest University 2008

<http://www.sherweng.com/documents/NC0B-Contest-U-2008-9.pdf>

(3) Receiver Test Data, Rob Sherwood NCØB

<http://www.sherweng.com/table.html>

(4) Intermodulations-Messgenerator

DJ8IL, CQ/DL 12/07

(5) Inband IMD Immunity Testing

<http://www.ab4oj.com/test/imdtest/main.html>

(6) Regelbarer ZF-Verstärker mit hoher IM-Festigkeit

https://dc4ku.darc.de/Regelbarer_ZF-Verstaerker_mit_hoher_IM-Festigkeit.pdf

(7) Inband-Intermodulationsfestigkeit von HF-Empfängern

https://dc4ku.darc.de/Inband_Intermodulation.pdf